

LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS BASADA EN EL DESARROLLO DE INVESTIGACIONES GUIADAS EN CURSOS INTRODUCTORIOS DE FÍSICA UNIVERSITARIA

GUISASOLA ARANZABAL, JENARO¹; CEBERIO GÁRATE, MIKEL²; ALMUDÍ GARCÍA, JOSÉ MANUEL² y ZUBIMENDI HERRANZ, JOSÉ LUIS²

¹ Departamento de Física Aplicada I. Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de San Sebastián. Universidad del País Vasco

² Departamento de Física Aplicada I. Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao. Universidad del País Vasco

jenaro.guisasola@ehu.es

mikel.ceberio@ehu.es

josemanuel.almudi@ehu.es

jl.zubimendi@ehu.es

Resumen. En este artículo, frente a la instrucción tradicional en resolución de problemas, proponemos la metodología denominada «resolución de problemas como desarrollo de investigaciones guiadas» que se encuentra enmarcada en el amplio abanico de propuestas de resolución de problemas como actividad basada en la investigación (Inquiry-Based Problem Solving). Los objetivos de este artículo son, en primer lugar, indagar cómo la implementación de la estrategia de resolución de problemas basada en el desarrollo de investigaciones guiadas (Guisasola et al., 2008) puede ayudar a que los estudiantes mejoren sus habilidades en procedimientos propios de la metodología científica para resolver problemas. En segundo lugar, mostrar evidencias de la mejora en resolución de problemas de los grupos experimentales frente a grupos de estudiantes que siguen una enseñanza tradicional y, en tercer lugar, explorar el efecto de la propuesta de resolución de problemas en las actitudes de los estudiantes. Se aportan evidencias de los resultados de la implementación con estudiantes de primer curso de Ingeniería.

Palabras clave. Resolución de problemas, enseñanza de la física en la universidad, aprendizaje basado en problemas.

Problem solving by developing guided research in introductory university physics courses

Summary. Compared to traditional instruction on solving problems, this article is proposing a methodology known as «problem solving by developing guided research» which is framed within the wide range of problem solving proposals in Inquiry-Based Problem Solving. This article firstly aims to investigate how implementing a problem solving strategy based on developing guided research (Guisasola et al., 2008) can help students to improve their skills in scientific methodology procedures to solve problems. Secondly, it aims to provide evidence of improvements in problem solving within experimental groups compared to groups of students following traditional teaching and thirdly, to explore the effect of the problem solving proposal on students' attitudes. Evidence is provided from the results of implementing this methodology among first year university engineering students.

Keywords. Problem solving, physics university teaching, problem based learning.

1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la física habitualmente sostiene que la resolución de problemas conduce a la comprensión de la física y que es una estrategia fiable para contrastar el aprendizaje alcanzado por los estudiantes (Maloney,

1994). La investigación, sin embargo, ha mostrado reiteradamente que muchos estudiantes que siguen cursos de física general en la universidad en formatos de enseñanza transmisiva aprenden a resolver problemas cuantitativos

similares a los que aparecen en los libros de texto al final de los capítulos, pero que suelen ser incapaces de explicar el significado de sus propias soluciones numéricas a los problemas. En este sentido, McDermott (1991) señala que el éxito en el cálculo de soluciones numéricas no implica que el correspondiente nivel de comprensión conceptual se alcance. De hecho, la instrucción habitual en los cursos de física centrada en la resolución de problemas ignora importantes objetivos procedimentales y suele centrarse en un operativismo matemático (Guisasola et al., 2006a; Langlois et al., 1995; Dufresne y Gerace, 2004; Perales, 1993). Este planteamiento suele conducir a un escaso logro en el desarrollo de habilidades y procedimientos asociados a la resolución de problemas y a los significados de la física (Huffman, 1997; Guisasola et al., 2006b; Dancy y Henderson, 2007; Van Heuvelen 1991).

Los objetivos de este artículo son, en primer lugar, indagar cómo la implementación de la estrategia de resolución de problemas basada en el desarrollo de investigaciones guiadas (Guisasola et al., 2008) puede ayudar a que los estudiantes aprendan procedimientos propios de la metodología científica para resolver problemas. En segundo lugar, mostrar evidencias de la mejora en resolución de problemas de los grupos experimentales frente a grupos de estudiantes que siguen una enseñanza tradicional en primer curso de Ingeniería; y, en tercer lugar, explorar el efecto de la propuesta de resolución de problemas en las actitudes de los estudiantes.

El proceso de desarrollo de la adquisición de elementos propios de la metodología científica y de comprensión de conceptos se explora dentro de un marco teórico basado en un enfoque «Problem-based learning in small groups» (PBL) (Duch, 1996; Raine y Collett, 2003; Hsu et al., 2004; Van Kampen et al., 2004) que concede importancia al conocimiento previo y se desarrolla en el contexto de situaciones próximas a la realidad (Savery y Duffy, 1995).

2. MARCO TEÓRICO

Los resultados de la investigación han mostrado los límites de la enseñanza tradicional de resolución de problemas. Kim y Pak (2002) muestran que los estudiantes universitarios no suelen tener grandes dificultades en utilizar las matemáticas y las fórmulas, lo que no es sorprendente después de una instrucción focalizada en ellas. Sin embargo, tras la resolución de múltiples problemas siguen persistiendo las concepciones alternativas más comunes detectadas por la investigación. La preocupación por el pobre aprendizaje de los estudiantes universitarios en resolución de problemas, así como la escasa comprensión de conceptos y leyes de la física, ha llevado al desarrollo de diferentes estrategias de enseñanza de la resolución de problemas (Ceberio et al., 2008).

Se ha señalado con frecuencia que la enseñanza de resolución de problemas de lápiz y papel no suele plantearse qué es un problema, lo que puede limitar las estrategias que se utilizan. La investigación, sin embargo, sí ha

abordado la cuestión y, de acuerdo con Perales (1993), el concepto de problema es definido de manera genérica como una situación incierta que provoca en quien la padece una conducta (resolución del problema) tendente a hallar la solución (resultado) y reducir de esta forma la tensión inherente a dicha incertidumbre.

Un conjunto de investigaciones sobre resolución de problemas de expertos y novatos identificó el análisis cualitativo y las sucesivas representaciones del problema como características de los expertos (Larkin y Reif, 1979; Larkin, 1981). Este enfoque asume que la pericia implica una utilización óptima de los recursos cognitivos y habilidades metodológicas disponibles en la propia área de la especialidad (Hegarty, 1991; Ferguson-Hesler y De Jong, 1990). Dentro de esta línea de investigación Van Heuvelen (1991) sugiere una enseñanza explícita de la resolución de problemas, que incluye análisis cualitativo y representaciones múltiples, en el método denominado *Overview, Case Study* (OCS), utilizado en cursos introductorios de física a nivel universitario. Reif (1995) sugiere que el método explícito de resolución de problemas a enseñar se divide en tres fases principales: análisis inicial del problema, incluyendo representaciones múltiples de la situación; construcción de una solución, haciendo uso, si es necesario, de la partición del problema en subproblemas y la comprobación del resultado. De acuerdo con Maloney (1994), la principal aportación de esta línea de investigación es la cantidad de información sobre cómo resuelven problemas las personas y su principal limitación es que muchas de las investigaciones en esta línea de expertos y novatos no se han realizado en el contexto del aula.

Asimismo, se han desarrollado otros tipos de estrategias de enseñanza que consideran que el aprendizaje comprensivo se alcanza por medio de la interacción con el entorno y que el conocimiento evoluciona a través de la interacción social y de la evaluación de la viabilidad del conocimiento individual (Savery y Duffy, 1995). Desde esta perspectiva Qin y otros (1995) sugieren utilizar los problemas para estructurar el aprendizaje, utilizando al profesor como entrenador metacognitivo y trabajando en grupos de forma colaborativa. La estructura de los problemas que se resuelven con este planteamiento presenta las siguientes características: a) la situación inicial que se plantea no proporciona toda la información necesaria para llegar a una solución; b) no existe un único camino de resolución de la tarea propuesta; c) conforme se recopila nueva información, cambia la definición del problema; d) los estudiantes nunca están completamente seguros de haber realizado la selección correcta de las posibles opciones de solución (Gallagher et al., 1995; Arambula-Greenfield, 1996).

En una selecta revisión de los trabajos en resolución de problemas, Taconis y otros (2001) muestran que los tratamientos eficaces se basan en guiar a los estudiantes para que adquieran buenas estrategias y criterios que puedan servir para evaluar su propio proceso de resolución y el resultado, así como proporcionar a los estudiantes procesos de retroalimentación que les permita ir adquiriendo los procedimientos para resolver problemas.

Los resultados de las investigaciones mencionadas han contribuido al diseño y consolidación de enseñanza de resolución de problemas denominada «resolución de problemas como desarrollo de investigaciones guiadas» (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983; Ramírez et al., 1994; Dumás-Carré y Goffard, 1997; Gil et al., 1999; Boilevin, 2005). La discusión de los fundamentos científicos y didácticos de esta propuesta ya ha sido realizada extensamente en otros trabajos nuestros (Guisasola et al., 2006b y Guisasola et al., 2008). A continuación describiremos brevemente la estructura de la estrategia de enseñanza y su implementación.

3. ESTRUCTURA DE LA ENSEÑANZA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS BASADA EN EL DESARROLLO DE INVESTIGACIONES GUIADAS

La propuesta de «resolución de problemas como desarrollo de investigaciones guiadas» cuestiona el proceso de resolución de problemas, tal y como habitualmente se presenta en el aula. Se plantea, en primer lugar, qué es lo que se entiende por problema y concluye que una situación sólo puede ser concebida como un problema en la medida en que resulta desconocida y en la medida en que, a priori, no disponemos de solución: una situación para la cual no hay soluciones evidentes (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983).

La estrategia empleada pretende sintetizar y avanzar en la búsqueda de coherencia entre diferentes aportaciones de la investigación educativa en resolución de problemas (Ceberio et al., 2008) y se utiliza tanto para mejorar las habilidades en resolución de problemas como para mejorar la comprensión de los conceptos y leyes, potenciando los aspectos cualitativos del problema frente a la resolución algorítmica.

En la tabla 1 reseñamos, brevemente, algunos de los supuestos básicos de esta propuesta didáctica. Las características que se presentan no se deben tomar como un heurístico sino como orientaciones metodológicas para la resolución del problema.

La implementación se abordó mediante el siguiente modelo en espiral: *a)* los investigadores planifican la trasposición de las características genéricas del modelo a su concreción en actividades de aula, es decir, diseñan una primera propuesta de enunciado y posible resolución adaptada al modelo, tal y como se presenta en el ejemplo del anexo 1; *b)* los investigadores forman a los profesores en seminarios sobre la metodología propuesta y los profesores resuelven cooperativamente los problemas teniendo la oportunidad de interactuar entre ellos y con los investigadores para analizar las características de la metodología de enseñanza y definir la versión de referencia de cada problema a utilizar en el aula; *c)* uno de los investigadores y los profesores los implementan en el aula.

Tabla 1
Características generales del tratamiento científico transferibles al ámbito docente.

SITUACIÓN PROBLEMÁTICA PARA LA CUAL NO HAY SOLUCIONES EVIDENTES Inclusión de aspectos Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) en los enunciados de los problemas: mejorar la actitud y aumentar el interés hacia la ciencia y su aprendizaje	
Orientaciones metodológicas para la resolución	Posibles acciones a realizar
De una situación problemática ambigua a un problema acotado: análisis cualitativo	<ul style="list-style-type: none"> – Clarificar el objetivo, lo que se busca – Acotar la situación para modelizarla y simplificarla – Reconocer un marco teórico de referencia – Identificar variables, buscar datos – Identificar partes del problema
Distanciamiento del razonamiento basado en evidencias: el papel de las hipótesis en la resolución de problemas	<ul style="list-style-type: none"> – Predecir la posible evolución del sistema – Establecer relaciones de dependencia entre variables – Analizar casos límite de especial relevancia física
En busca de estrategias como tentativas de resolución	<ul style="list-style-type: none"> – Presentar una descripción secuencial de actuaciones – Identificar las leyes y principios fundamentales – Valorar posibles vías alternativas.
Sobre la consistencia del proceso de resolución: el análisis de resultados	<ul style="list-style-type: none"> – Analizar la plausibilidad del valor de la respuesta – Analizar la coherencia dimensional de la respuesta – Analizar la dependencia de la respuesta con los parámetros del problema según las hipótesis – Analizar si se obtiene la misma respuesta por otro camino de resolución
De la resolución de un problema al planteamiento de otros: nuevas perspectivas	<ul style="list-style-type: none"> – Abordar con otro nivel de profundidad – Plantear otros modelos – Plantear nuevos problemas

La propuesta de «resolución de problemas como desarrollo de investigaciones guiadas» ha de ser aplicada en el aula con una estructuración de la misma en pequeños equipos de trabajo de tres o cuatro estudiantes (Heller et al., 1992; Qin et al., 1995) que interaccionan entre ellos, con el profesor y con otras fuentes de información.

La implementación de la estrategia científica para abordar un problema en el contexto del aula se puede considerar, desde la perspectiva temporal, dividida en cuatro fases. En la primera fase, el profesor propone a los estudiantes una situación problemática de carácter abierto que permita despertar el interés de los estudiantes. Éstos, en sus respectivos equipos de trabajo, tratan de transformar la situación planteada en un problema abordable. El profesor guía la discusión entre los equipos para alcanzar un consenso.

En la segunda fase, cada equipo de trabajo aborda el problema, lo analiza, comienza a emitir las primeras hipótesis y evalúa posibles estrategias de resolución, es decir, realiza una primera tentativa en la que se producen interacciones entre los distintos estudiantes que componen el grupo y entre éstos y las diferentes fuentes de información, como libros de texto, internet, etc. Se realiza en clase una puesta en común y el profesor señala las dificultades conceptuales y metodológicas de la resolución, reorienta a los estudiantes y les ayuda a superar posibles bloqueos.

En una tercera fase, unos días después de la anterior puesta en común en el aula, y tras un trabajo no presencial en equipo, los estudiantes presentan y defienden ante todo el grupo sus soluciones al problema. El profesor actuará de guía y moderador de las posibles discusiones que surjan entre los estudiantes y hará uso de preguntas que guíen la resolución y que permitan aflorar los conocimientos y capacidades científicas implicadas.

Finalmente, en la cuarta fase, se realizarán informes escritos individuales que resuman la resolución del problema y en los que se verbalicen las principales argumentaciones, simplificaciones, hipótesis y justificaciones propias del trabajo científico utilizadas.

Durante todo el proceso el profesor presenta el mismo problema a toda la clase y los diferentes equipos de estudiantes trabajan simultáneamente cada fase del proceso.

4. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA Y ESTRATEGIAS

La investigación se realizó con estudiantes de primer curso de Ingeniería en la Universidad del País Vasco. La totalidad de los estudiantes de primer curso habían cursado con anterioridad dos años de estudios de física en el bachillerato (16-18 años) y abordaban su primer curso de Física para ingenieros.

La asignación de los estudiantes a los diferentes grupos se realiza de forma aleatoria por medio de una aplicación informática. Para cada uno de los idiomas en los que se

imparte la docencia, castellano o euskara, el único criterio utilizado es el de igualdad del número de estudiantes por grupo. Por otro lado, la consideración de grupo experimental depende únicamente de que el profesor designado por el Departamento para impartir la asignatura en ese grupo aplique la metodología indicada en el apartado anterior.

Estos estudiantes recibieron 2 horas de clase magistral, 1 hora de clases de problemas y 2 horas de laboratorio por semana, durante 15 semanas en el área de mecánica (primer semestre) y otras 15 semanas en el área de electromagnetismo (segundo semestre). Las clases las impartieron profesores del Departamento de Física con amplia experiencia docente e investigadora y que, en todos los casos, han superado al menos una prueba de selección pública para ser miembros de plantilla de la Universidad del País Vasco. Tanto los estudiantes que recibieron clase tradicional como los estudiantes experimentales utilizaron los libros de texto habituales para las clases magistrales y para la resolución de problemas de final del capítulo, abarcando el mismo programa para todos ellos.

Los estudiantes experimentales abordan un total de 7 u 8 problemas abiertos de acuerdo con la metodología propuesta haciendo uso de las horas de clases de problemas y algunas horas de la franja de laboratorio, pero sin recibir clases extra. La diferencia con el grupo de control estriba en la distribución del tiempo en las diferentes actividades, primando la resolución del problema abierto frente a la resolución en la pizarra de los problemas estándar del libro de texto, así como en la inclusión de actividades consistentes en la resolución de situaciones problemáticas en las clases magistrales. Es decir, los estudiantes experimentales también utilizan la metodología indicada para el aprendizaje de los nuevos conceptos del currículo. Esto supone que puedan aplicar algunos aspectos de la metodología en aproximadamente la mitad de las sesiones de las clases magistrales, facilitando así que asuman más rápidamente la propuesta metodológica.

En el estudio que se describe en este artículo tomaron parte un número total de 134 estudiantes de primer curso de Ingeniería distribuidos en 4 clases experimentales con entre 30 y 40 estudiantes por clase. Asimismo, tomaron parte otros 65 estudiantes distribuidos en 2 clases que recibieron enseñanza tradicional.

De acuerdo con Cohen y otros (2007), el diseño realizado con objeto de contrastar los resultados de la implementación es un diseño pre-experimental de posttest con grupos experimentales para medir las variables dependientes correspondientes a las habilidades en resolución de problemas y un diseño con posttest en el grupo experimental y en el grupo de control.

Los datos han sido recogidos en el tercer año de implementación de esta metodología con estudiantes de primero de Ingeniería, desde octubre a junio, lo que supone que, si bien el profesorado acumulaba una importante experiencia en la implantación de la metodología, para los estudiantes de primero era, cada año, una novedad. La resolución por escrito de problemas de física ha sido,

en este estudio, el principal instrumento utilizado como fuente de datos (Rivard, 1994). Entendemos que al ser éste un contexto de menor presión resulta más adecuado que una sesión oral para que los estudiantes expliquen razonadamente los pasos dados en la resolución. Sin embargo, también se han utilizado datos de grabaciones de entrevistas realizadas a equipos de 3 o 4 estudiantes experimentales que de forma voluntaria resolvían los problemas «en voz alta», lo que nos ha permitido profundizar en los razonamientos y procedimientos que los estudiantes emplean para resolver problemas de física de primer curso de Ingeniería. Por razones de espacio estas entrevistas no se transcriben en este trabajo, aunque debe entenderse que las ideas en ellas expresadas son coincidentes con los ejemplos que incluimos en el siguiente apartado, extraídas de las resoluciones escritas.

5. RESULTADOS

Análisis de los razonamientos y procedimientos empleados por los estudiantes experimentales en la resolución de problemas

Para indagar acerca de cómo razonan los estudiantes experimentales al resolver problemas de física y cómo utilizan los conceptos y leyes implicados, les hemos pedido que resuelvan, en los diferentes exámenes de la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería, los problemas del cuadro 1. En los exámenes se ha optado, en general, por enunciados centrados en la parte del cuerpo teórico de la física con una estructura más estándar, tal y como se muestra en el cuadro 1. Entendemos que los estudiantes experimentales, tras una instrucción adecuada, deben ser capaces de aplicar la metodología al afrontar cualquier tipo de enunciado, tanto abierto como habitual.

Cuadro 1
Enunciados de problemas propuestos.

Choque masa-varilla: Disponemos de una varilla que puede girar libremente en un plano vertical en torno a un eje fijo que pasa por uno de sus extremos. Se desplaza de su posición de equilibrio y se libera. Si cuando pasa por la vertical el extremo libre de la varilla choca contra una pequeña bola de plastilina que se encuentra en reposo sobre una mesa horizontal, quedando ambos unidos, determinar la velocidad de salida del choque.
Hilos paralelos: Disponemos de dos hilos paralelos muy largos con carga igual y de distinto signo uniformemente repartida en toda su longitud. Obtener la expresión del campo eléctrico en un punto situado entre los dos hilos y contenido en el plano definido por ellos.
Espira en movimiento: Una espira conductora rectangular se desplaza horizontalmente hacia la derecha pasando de una región en la que existe un campo magnético B_1 uniforme, perpendicular a la espira y entrante, a otra región en la que no hay campo magnético. ¿Qué fuerza habrá que aplicar sobre la espira para mantener su velocidad constante?

El análisis ha consistido en una valoración semicuantitativa basada en protocolos diseñados para el análisis de las respuestas escritas, en concordancia con las capacidades científicas recogidas en la tabla 1 (Cook y Reichardt, 1986). En este análisis, hemos tratado de dividir las respuestas en secciones parciales que puedan ser categorizadas como una «explicación» y han sido agrupadas en categorías (ver tabla 2) para determinar el nivel desarrollado por los estudiantes en la resolución de los problemas (Cortazzi, 1993). Los criterios de aplicación de esta categorización se particularizan para cada problema tratando de recoger los principales aspectos procedimentales implicados acordes con una correcta resolución y las características ya señaladas en la **tabla 1**.

Los niveles de desarrollo de las capacidades científicas para resolver problemas se han organizado de manera acumulativa con objeto de buscar una coherencia global de resolución, sin entrar a valorar los casos de aciertos inconexos y desmarcados de un planteamiento general. No consideramos un avance, por ejemplo, que un estudiante analice un resultado sin haber emitido previamente hipótesis razonadas. Por tanto, cuando incluimos a un estudiante en una categoría, ha tenido que cumplir satisfactoriamente con los requisitos de la categoría anterior. Así, un estudiante de la categoría 4 «analiza el resultado», cumple con los requisitos estratégicos de la categoría 3, con la emisión de hipótesis de la categoría 2 y con el análisis cualitativo de la categoría 1.

Tras la implementación de la propuesta alternativa, una minoría de estudiantes (ver tabla 2) persiste en hábitos de resolución basados en las ecuaciones matemáticas sin describir la situación y sin empezar por un análisis cualitativo.

En el nivel 1 se han incluido aquellas respuestas que, realizando un análisis cualitativo de la situación, no completan una emisión de hipótesis suficiente. Así, por ejemplo, de entre los estudiantes que en el grupo 1 han sido clasificados en este nivel 1, en el análisis del problema choque masa-varilla, encontramos planteamientos como el siguiente:

«Se puede ver que nos encontramos ante un choque elástico, pues la bola de plastilina gira junto con la barra. Antes de ese choque se da un movimiento circular acelerado de la barra, ya que el peso le acelera. Suponemos que liberamos la barra desde un ángulo θ o una altura h ».

Este estudiante realiza un esquema gráfico correcto de la situación, donde, además, indica las variables masa de la bola, masa de la varilla, longitud de la varilla y ángulo de desplazamiento inicial de la varilla respecto de la vertical. Sin embargo, la emisión de hipótesis de variables que realiza no cumple con los requisitos impuestos para alcanzar el nivel 2.

Tabla 2
Niveles de utilización de las capacidades científicas en la resolución de problemas
(se indican los datos según el problema que realizó en el examen cada grupo de estudiantes).

NIVEL	CATEGORÍA DE RESPUESTA	% DE RESPUESTAS				
		Problema choque masa-varilla	Problema hilos paralelos		Problema espira en movimiento	
		GRP 1. N = 30	GRP 2. N = 40	GRP 3. N = 34	GRP 2. N = 35	GRP 3. N = 32
0	No realiza un análisis cualitativo	13,3	12,5	20,6	5,7	9,4
1	Realizar un análisis cualitativo	23,3	22,5	26,5	14,3	12,5
2	Emitir hipótesis	30	20	5,9	31,4	28,1
3	Elaborar las estrategias de resolución	13,3	22,5	17,7	22,9	37,5
4	Analizar el resultado	20	22,5	29,4	25,7	12,5

En un siguiente nivel de categoría de respuesta (nivel 2), hemos incluido a aquellos estudiantes que habiendo completado un análisis cualitativo de la situación, además, han sabido emitir hipótesis razonadas sobre la solución del problema. Un ejemplo de hipótesis satisfactorias emitidas por los estudiantes durante la resolución del problema 1, sería:

«Yo creo que el resultado aparecerá en función de las siguientes magnitudes: la masa de la bola de plastilina, pues cuanto mayor sea ésta, después del choque la velocidad será menor; la masa de la varilla, pues cuanto mayor sea, más impulso llevará en el choque; el ángulo o la altura inicial, que cuanto más desplazemos más velocidad cogerá al ir a chocar; la longitud de la varilla, que afecta a su momento de inercia».

Una vez analizada la situación problemática abierta desde el punto de vista cualitativo y tras emitir hipótesis razonadas, los estudiantes incluidos en el nivel 3 han elaborado sus estrategias de resolución de forma justificada y considerando alternativas. Estos estudiantes han escrito valoraciones tales como:

«Por otro lado, la rotación de la varilla, en principio, hay que suponer que se puede resolver de distintas maneras. La primera, usando el momento de las fuerzas obtener el valor de la aceleración angular. Si ésta es constante, es decir, si queda en función de magnitudes constantes, es fácil obtener la velocidad por cinemática. Otra posibilidad es aplicar la conservación de la energía, pues la única fuerza que realiza trabajo, el peso, es conservativa (las reacciones en el eje no se desplazan). La segunda parte del problema lo haré usando la conservación del momento angular, porque el momento lineal no es constante porque la barra está sujeta por arriba, y tiene reacciones fuertes en el choque».

El nivel más alto de utilización de procedimientos científicos (nivel 4) supone que se cumplimentan satisfactoriamente las fases de análisis cualitativo, la emisión de hipótesis, la elaboración de estrategias y, finalmente, una vez alcanzado el resultado, se analiza su coherencia.

Ejemplo de la fase final de análisis de resultados bien realizada sería para problema choque masa-varilla:

«Si nos fijamos en el resultado, se puede ver que aparecen las dos masas, la longitud de la barra y el ángulo. También aparece la aceleración de la gravedad que no he tenido en cuenta antes (en las hipótesis), pero me parece normal porque es constante. Se puede ver que si aumentamos la masa de la bola, más le cuesta moverse después del choque. Si aumentamos el ángulo, se ve que la velocidad es mayor como habíamos dicho antes (en las hipótesis). Se puede ver que la masa y la longitud de la varilla aparecen en el numerador y en el denominador. Creo que es porque influyen de dos maneras, por la inercia y por la fuerza que dan en el choque».

Debido a que los niveles de categorización del uso de los procedimientos durante la resolución se han organizado de manera acumulativa, el número de estudiantes que para cada situación problemática realiza un correcto análisis cualitativo lo obtendremos sumando los estudiantes incluidos en los niveles 1, 2, 3 y 4; los que han emitido hipótesis coherentes con nuestros criterios serán los que se obtienen con la suma de los niveles 2, 3 y 4, etc.

En general, los datos indican que, cuando la metodología de resolución se desarrolla a lo largo de todo el curso, la utilización de las capacidades científicas tiende a consolidarse. El problema de «espira en movimiento» se propuso a los estudiantes en el último examen del curso y se constata que más de las tres cuartas partes de los estudiantes realizan al menos un planteamiento cualitativo y alrededor de la mitad realizan los procedimientos de emisión de hipótesis y elaboración de estrategias de los niveles 2 y 3.

¿Resuelven mejor los problemas de física los estudiantes experimentales que los estudiantes de control?

Se podría argumentar que la mejora en la utilización de procedimientos científicos no tiene por qué incidir favorablemente en la obtención de resultados correctos. En este sentido, el análisis presentado anteriormente no ase-

gura que los estudiantes que aborden los problemas con este enfoque metodológico sepan resolver correctamente problemas estándar como los que aparecen en los libros de texto. Por ello, se analizó la resolución de tres problemas estándar (cuadro 2) planteados en situación de examen valorándose si, desde el punto de vista académico e independientemente de la utilización o no de procedimientos científicos, el resultado alcanzado era correcto.

Los resultados recogidos en la tabla 3 corresponden a las resoluciones de 104 estudiantes de los grupos experimentales (GE) y 65 estudiantes de los grupos de control (GC). El grado de significación para comparar si existen o no diferencias significativas en los datos porcentuales entre los grupos experimentales y de control se ha hecho mediante el cálculo del estadístico t para el nivel de confianza habitual del 5% o menor, habiéndose obtenido, en todos los casos, diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, no hay que subestimar los bajos resultados en algunos problemas o apartados de los mismos como, por ejemplo, el problema de la corteza esférica o el apartado segundo del problema alambre-circuito.

Cuadro 2
Enunciados de problemas estándar propuestos.

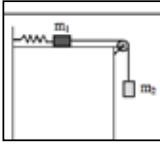
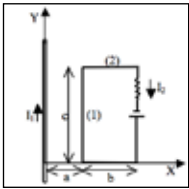
<p>Muelle-masas. El bloque de masa m_1, de la figura, que se encuentra sobre una mesa rugosa, se conecta a un resorte de constante k, y por medio de una cuerda ligera e inextensible que pasa por una polea sin rozamiento y de masa despreciable se une a otro bloque de masa m_2. Si el sistema se libera a partir del reposo cuando el resorte no está estirado, ¿cuál es la velocidad del sistema cuando el muelle se ha alargado una distancia x?</p> 
<p>Corteza esférica. Un conductor esférico hueco, inicialmente descargado, posee radios interno a y externo b. En el centro de la cavidad esférica existe una carga puntual $+q$. a) justificar cuál será la distribución de carga una vez alcanzado el equilibrio; b) obtener el campo eléctrico en puntos de las regiones exterior a b, entre a y b, e interior a a.</p>
<p>Alambre-circuito. Un alambre largo y recto orientado a lo largo del eje y y lleva una corriente i_1. Un circuito rectangular, localizado como se indica en la figura, transporta una corriente i_2. Determinése la fuerza magnética sobre cada uno de los segmentos de corriente (1) y (2) de dicho circuito, debida únicamente al efecto del alambre.</p> 

Tabla 3
Resultados comparativos de resultado correcto obtenidos por los grupos experimentales (GE) y de control (GC).

PROBLEMA	% RESULTADO CORRECTO		
	GE (N = 104)	GC (N = 65)	t
Muelle-masas	39	5	4,17
Corteza esférica	51	11	4,92
Alambre-circuito	(1)	72	32
	(2)	30	3
			4,16

Actitudes de los estudiantes hacia la enseñanza de resolución de problemas como desarrollo de investigaciones guiadas

Para producir un cambio metodológico estable es fundamental que se produzca paralelamente un cambio actitudinal que lleve a los estudiantes no sólo a obtener mejores resultados en la resolución de problemas (aunque esto, evidentemente, ayudará al cambio actitudinal), sino también a valorar más positivamente la nueva metodología (Furió y Vilches, 1997). No podemos olvidar que el estudiante tiene poder de veto sobre lo que aprende.

Hemos preguntado a los estudiantes experimentales acerca de los contenidos y métodos que se han trabajado en las clases de problemas, sobre la forma en la que se han trabajado los problemas abiertos en el aula y, finalmente, sobre la satisfacción global con el método de resolución.

Presentamos en la tabla 4 las principales categorías identificadas en el análisis de las respuestas de los estudiantes, el porcentaje correspondiente a cada una de ellas y ejemplos de respuesta.

Los resultados aportan evidencias de que la mayoría de los estudiantes piensa que la enseñanza recibida ha contribuido a que aprendan y practiquen algunas características de la metodología científica que les han ayudado a comprender mejor los conceptos y leyes físicas y, al mismo tiempo, les ha permitido resolver mejor los problemas, incluidos los problemas estándar.

6. CONCLUSIONES

En este estudio se presentan evidencias de que la enseñanza de resolución de problemas como desarrollo de investigaciones guiadas permite que una mayoría de estudiantes desarrolle habilidades relacionadas con la metodología científica e interprete significativamente los conceptos y leyes involucrados en los problemas de física.

En la clase, la puesta en práctica de las nuevas estrategias de resolución de problemas requiere de los estudiantes una participación activa, un trabajo colaborativo y una actitud positiva.

Tabla 4
Categorización de las opiniones de los estudiantes acerca de la propuesta.

Categoría	Porcentaje (N = 104)	Ejemplos de respuestas
Los procedimientos que se han trabajado en los problemas abiertos (análisis cualitativo, emisión de hipótesis, estrategias de resolución, análisis de resultados) me han ayudado a reflexionar más profundamente y a comprender mejor los conceptos, leyes y principios de la física.	71%	<i>«Los problemas abiertos me han ayudado a profundizar en los significados de las leyes y fórmulas....».</i> <i>«Me ha resultado útil el ir resolviendo el problema de lo cualitativo a la cuantitativo, ... primero saber cómo es el problema y luego ver qué conceptos y leyes influyen ...».</i>
La forma de trabajar en clase y las cuestiones del profesor me han ayudado a resolver los problemas.	68%	<i>«A mí, personalmente, este tipo de problemas me han ayudado mucho y trabajando en grupo he aprendido más, discutiendo acerca de los conceptos, etc. La dificultad ha sido bastante alta, pero eso ha servido para pensar más. En general, soy partidario de hacer este tipo de problemas».</i> <i>«La puesta en común de cada problema es una buena manera de reflexionar sobre las leyes que hay que aplicar».</i>
No he aprendido nada nuevo. Mejor hacer los problemas como siempre.	12%	<i>«Para resolver un problema no hace falta seguir tantos pasos, esto lleva mucho tiempo y hay que estudiar otras asignaturas».</i>
No responden.	3%	

El efecto de la enseñanza de resolución de problemas como desarrollo de investigaciones guiadas en la mejor utilización de las habilidades científicas de los estudiantes ha sido explorado mediante el análisis de las respuestas a problemas abiertos. Los resultados de la tabla 2 nos indican que un porcentaje significativo de los estudiantes experimentales utiliza procedimientos científicos de tipo experto como el análisis cualitativo del problema (Leonard et al., 2002), la emisión de hipótesis (Seroussi, 1995; Wenham, 1993) o bien, el análisis de los resultados (Reif, 1995). Asimismo, del análisis de sus respuestas se deduce que una mayoría de estos estudiantes razona y justifica, basándose en evidencias, sus decisiones durante la resolución.

Eventualmente, esta forma de enfocar la resolución de problemas como actividad científica podría reemplazar la estrategia usual de los estudiantes basada en la búsqueda de datos para una fórmula ad hoc. Sin embargo, también hemos detectado que los hábitos de resolución exclusivamente matemática a través de aplicación directa de ecuaciones son difíciles de cambiar. Una parte significativa de los estudiantes sigue resolviendo los problemas como aplicación mecánica de ecuaciones a estereotipos de problemas. Ésta es, quizás, otra evidencia más de que para que los estudiantes desarrollen las capacidades propias del ámbito científico es necesario practicarlas reiteradamente y, para ello, hay que crear ambientes de aprendizaje en los que se demande al estudiante el análisis de pruebas o datos, comparar las soluciones dadas por distintos grupos y justificar las estrategias empleadas. Es necesario, por tanto, un cambio de estrategias de enseñanza a lo largo de toda la etapa de instrucción y no sólo durante un curso.

La implementación de la estrategia de resolución de problemas mejora los resultados de los estudiantes respecto a la obtención de una solución correcta desde el punto de vista académico, en problemas estándar de libros de texto. La elección científicamente justificada de decisiones para resolver el problema hace que el número de resoluciones correctas en estudiantes experimentales sea significativamente mayor que en los estudiantes de control. Se sugiere que la aplicación de razonamientos propios de la actividad científica mejora la comprensión de las leyes y conceptos a aplicar en el contexto del problema.

Los resultados obtenidos al implementar esta forma de resolución de problemas con nuestros estudiantes nos permiten afirmar que la mayoría adopta una actitud favorable hacia el aprendizaje de resolución de problemas mostrándose proactivos, participativos y con espíritu de superación ante las dificultades de aprendizaje.

Finalmente, es necesario indicar que la introducción de la metodología resulta costosa al comienzo de curso y que requiere mayor inversión de tiempo que la enseñanza tradicional. Asimismo, los estudiantes deben percibir que la metodología alternativa tiene fiel reflejo en las pruebas de evaluación. Por ello, cuando después de transcurridas las cuatro primeras semanas de curso se realiza un examen que aborda aspectos procedimentales clave de la metodología, su implementación aumenta de ritmo y los estudiantes se familiarizan con la nueva forma de trabajar. Esto implica que se aborda el mismo currículo básico consensuado por el departamento de nuestra universidad para todos los cursos introductorios de física en ingeniería, si bien es cierto que los estudiantes experimentales dedican menos tiempo a la realización de ejercicios tipo repetitivos.

Aunque en este estudio no se han analizado las implicaciones de extender esta forma de resolución de problemas al profesorado novel en la enseñanza universitaria, pensamos que podría ser provechosa para su desarrollo profesional. Sin embargo, es necesario resaltar que su aplicación debe ir acompañada de una formación previa y de una tutela. De hecho, en general, es necesaria una labor previa entre el grupo de profesores que discuta y tenga en cuenta las diferentes posibilidades a que puede dar lugar el problema abierto.

Asimismo, es necesario un entrenamiento en el diseño de preguntas y la forma de plantearlo con los estudiantes. La forma de preguntar tiene que suponer, por un lado, un reto para estimular la reflexión y búsqueda de soluciones y, por otro, no superar las posibilidades cognitivas de los estudiantes. El equilibrio necesario supone para el grupo de profesores involucrados un reto que requiere tener en cuenta los resultados de la investigación en enseñanza de la física y aplicarlos en el contexto de resolución de problemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAMBULA-GREENFIELD, T. (1996). Implementing problem-based learning in a collage science class. *Research in Science Education*, 25(4), pp. 383-393.
- BOILEVIN, J.M. (2005). Enseigner la physique par la situation problema ou par probleme ouvert. *Aster*, 40, pp. 13-37.
- CEBERIO, M., GUIASOLA, J. y ALMUDI, J.M. (2008). ¿Cuáles son las innovaciones didácticas que propone la investigación en resolución de problemas de física y qué resultados alcanzan? *Enseñanza de las Ciencias*, 26(3), pp. 419-430.
- COHEN, L., MANION, L. y MORRISON, K. (2007). *Research Methods in Education (sixth edition)*. Londres: Routledge. Taylor & Francis Group.
- COOK, T.D. y REICHARDT, C.H.S. (1986). *Qualitative and quantitative methods in evaluation research*. London: Sage Publications, Inc.
- CORTAZZI, M. (1993). *Narrative analysis*. Londres: Palmer Press.
- DANCY, M. y HENDERSON, C. (2007). Framework for articulating instructional practices and conceptions. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 3(1).
- DUCH, B.J. (1996). Problem-based learning in physics: The power of students teaching students. *Science Teaching*, 26, pp. 529-541.
- DUFRESNE, R.J. y GERACE, W.J. (2004). Assessing-To-Learn: Formative Assessment in Physics Instruction. *The Physics Teacher*, 42, pp. 428-433.
- DUMAS-CARRÉ, A. y GOFFARD, M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problèmes en physique (New approach for physics problem solving)*. París: Armand Colin.
- FERGUSON-HESSLER, M. y DE JONG, T. (1990). Studying physics texts: Differences in study processes between good and poor performers. *Cognition and Instruction*, 7, pp. 41-54.
- FURIÓ, C. y VILCHES, A. (1997). *Las actitudes del alumnado hacia las ciencias y las relaciones ciencia, tecnología y sociedad en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. ICE/Horsori: Barcelona.
- GALLAGHER, S.A., STEPIEN, W.J., SHER, B.T. y WORKMAN, D. (1995). Implementing problem-based learning in science classroom. *School Science and Mathematics*, 95(3), pp. 136-146.
- GARRET, R.M. (1988). Resolución de problemas y creatividad: Implicaciones para el currículo de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), pp. 224-230.
- GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1983). A model for problem solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4).
- GIL, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., GUIASOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M. y PESSOA, A.M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (2), pp. 311-320.
- GUIASOLA, J., CEBERIO, M. y ZUBIMENDI, J.L. (2006a). University Students' Strategies for Constructing Hypothesis when Tackling Paper-and-Pencil Tasks in Physics. *Research In Science Education*, 36(3), pp. 163-186.
- GUIASOLA, J., CEBERIO, M., ALMUDI, J.M. y ZUBIMENDI, J.L. (2006b). *La enseñanza de problemas de Física en primer curso de universidad. De explicar problemas a guiar su resolución*. Barcelona: Editorial Octaedro.
- GUIASOLA, J., FURIÓ, C. y CEBERIO, M. (2008). Science Education Based on Developing Guided Research. M.V. Thomase (editor). *Science Education in Focus*, Nova Science Publishers, Inc.
- HEGARTY, M. (1991). Knowledge and processes in mechanical problem solving, en Sternberg, R.J. y Frensch, P.A. (eds.). *Complex problem solving: Principles and mechanisms*, pp. 253-285. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- HELLER, P., KEITH, R. y ANDERSON, S. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving. *American Journal of Physics*, 60(7), pp. 627-636.
- HSU, L., BREWE, E., FOSTER, T.M. y HARPER, K.A. (2004).

- Resource Letter RPS-1: Research in problem solving. *American Journal of Physics*, 72(9), pp. 1147-1156.
- HUFFMAN, D. (1997). Effect of Explicit Problem Solving Instruction on High School Students' Problem-Solving Performance and Conceptual Understanding of Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(6), pp. 551-570.
- KIM, E. y PAK, S.-J. (2002). Students do not overcome conceptual difficulties after solving 1000 traditional problems. *American Journal of Physics*, 70(7), pp. 759-765.
- LANGLOIS, F., GRÉA, J. y VIARD, J. (1995). Influencia de la formulación del enunciado y del control didáctico sobre la actividad intelectual de los alumnos en la resolución de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), pp. 179-191.
- LARKIN, J.H. (1981). Enriching formal knowledge: A model for learning to solve textbook physics problems, en Anderson, J.R. (ed.). *Cognitive skills and their acquisition*, pp. 311-334. Hillsdale, NY: Erlbaum.
- LARKIN, J.H. y REIF, F. (1979). Understanding and teaching problem solving in physics. *European Journal of Science Education*, 1(2), pp. 191-203.
- LEONARD, W.J., GERACE, W.J. y DUFRESNE, R.J. (2002). Resolución de problemas basada en el análisis. Hacer del análisis y del razonamiento el foco de la enseñanza de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), pp. 387-400.
- MALONEY, D.P. (1994). *Research on problem solving: Physics*, en Gabel, D.L. (ed.). *Handbook of Physics*, 64, pp. 1495-1503.
- McDERMOTT, L. (1991). Millikan lecture 1990: What we teach and what is learned-closing the gap. *American Journal of Physics*, 59, pp. 301-315.
- PARK, F. y LEE, L. (2004). Analysing cognitive or non-cognitive factors involved in the process of physics problem-solving in an everyday context. *International Journal of Science Education*, 26(13), pp. 1577-1595.
- PERALES, F.J. (1993). La resolución de problemas: Una revisión estructurada. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), pp. 170-178.
- QIN, Z., JOHNSON, D.W. y JOHNSON, R.T. (1995). Cooperative versus competitive efforts and problem solving. *Review of Educational Research*, 65(2), pp. 129-143.
- RAINE, D.J. y COLLETT, J. (2003). Problem-based learning in astrophysics. *European Journal of Physics*, 24, S41-S46.
- RAMÍREZ, J.L., GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.M. (1994). *La resolución de problemas de física y de química como investigación*, Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia: CIDE.
- REIF, F. (1995). Millikan Lecture 1994: Understanding and teaching important scientific thought processes. *American Journal of Physics*, 63(1), pp. 17-32.
- RIVARD, L.P. (1994). A review of writing to learn science: implications for practice and research, *Journal of Research in Science Teaching*, 31, pp. 969-983.
- SAVERY, J.R. y DUFFY, T.M. (1995). Problem based learning: an instructional model and its constructivist framework. *Educational Technology*, 35, pp. 31-36.
- SEROUSSI, D.E. (1995). Heuristic Hypotheses in Problem Solving: An Example of Conceptual Issues about Scientific Procedures. *Science Education*, 79(6), pp. 595-609.
- TACONIS, R. FERGUSON-HESSLER, M.G.M. y BROEKKAMP, H. (2001). Teaching science problem solving: An overview of experimental work. *Journal of Research in Science Teaching* 38(4), pp. 442-468.
- VAN HEUVELEN, A. (1991). Learning to think like a physicist: A review of research based instructional strategies. Part II: Design of instructional strategies. *American Journal of Physics*, 59, pp. 891-897.
- VAN KAMPEN, P., BANAHAN, C., KELLY, M., ELLISH McLOUGHLIN, E. y O'LEARY, O. (2004). Teaching a single physics module through Problem Based Learning in a lecture-based curriculum, *American Journal of Physics*, 72 (6), pp. 829-834.
- WENHAM, M. (1993). The nature and the role of hypotheses in school science investigations. *International Journal of Science Education*, 15(3), pp. 231-240.

Anexo 1

En los últimos años ha aumentado el interés por lanzarse desde puentes, torres o helicópteros amarrado por los tobillos a una cuerda elástica. Se trata del denominado salto *bungee* o salto con cuerda elástica. Diseña un dispositivo seguro para la práctica de este «deporte» extremo.

Ejemplo de enunciado abierto

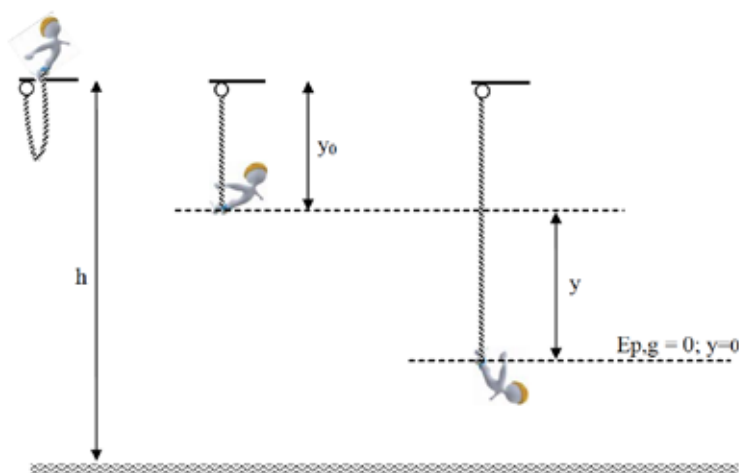
De una situación problemática ambigua a un problema acotado: análisis cualitativo

El hecho de eliminar los datos del enunciado obliga a tomar decisiones y a modelizar la situación. El análisis cualitativo conlleva la realización de un esfuerzo por contemplar las magnitudes y ver cuáles son las variables que influyen y a seleccionar la incógnita. El profesor guía la discusión inicial realizando una pregunta como la que sigue:

¿En qué consistirá que el bungee sea una actividad segura?

Los estudiantes, en colaboración con otros estudiantes de su equipo y, posteriormente, como consecuencia de las interacciones con el profesor y con estudiantes de otros equipos, aportan argumentaciones en la siguiente línea:

- Para que el salto sea seguro, la suma de la altura, y_0 , que se desciende hasta que la goma comienza a estirarse (que coincide con la longitud natural de la cuerda) más la distancia «y» descendida durante el estiramiento de la goma, ha de ser menor que la altura inicial h del saltador con respecto al suelo.
- Una manera de operativizar el problema sería obtener la altura total ($y_t = y_0 + y$) en función de la masa suspendida y la elasticidad de la cuerda, y compararla con h , contando con un amplio margen de seguridad, por ejemplo el 30% de h .
- Otra opción sería valorar la elasticidad que tendría que tener la cuerda elegida para que ($y_0 + y$) sea menor que $(h - 0,3 h)$, contando con el mismo margen de seguridad antes mencionado.
- Con objeto de simplificar los cálculos, consideraremos que la cuerda responde a la ley de Hooke ($F = -kx$) y que es de masa despreciable. Asimismo, consideraremos que el saltador, de masa m , tiene una altura mucho menor que la altura h de salto, por lo que podremos tratarlo como una partícula puntual. Despreciamos, también, la resistencia con el aire.
- De acuerdo con nuestra modelización, durante un instante cualquiera de la caída mientras se está estirando la goma, las interacciones sobre el saltador serán la fuerza gravitatoria que la tierra ejerce sobre él y la fuerza elástica con la que la cuerda (muelle) tira de él hacia arriba:



El papel de las hipótesis en la resolución de problemas

Son las hipótesis las que focalizan y orientan la resolución, las que indican los parámetros a tener en cuenta. Y son las hipótesis y la totalidad del cuerpo de conocimientos en las que se basan las que permitirán analizar el resultado y todo el proceso.

Es cierto también que a veces, incluso muy a menudo, los alumnos introducen ideas «erróneas» cuando formulan hipótesis, pero esto, lejos de ser negativo, constituye, quizás, la manera más eficaz de sacar a la luz sus concepciones y razonamientos alternativos.

En el análisis del salto *bungee* son los propios estudiantes los que bajo la dinamización del profesor (*¿De qué factores dependerá la altura descendida?*), podría preguntar, por ejemplo) especulan con razonamientos hipotéticos como los que siguen:

- f) Lógicamente, cuanto mayor sea la longitud de la cuerda mayor será la distancia y_0 que el saltador desciende en caída libre, y mayor será y_t .
- g) Cuanto mayor sea la masa m del saltador, más peso ejercerá sobre la cuerda (el muelle en nuestra modelización) y mayor será la distancia «y» que ésta se estira, por lo que mayor será y_t .
- h) Por otro lado, es importante valorar la elasticidad de la cuerda que, en nuestra simplificación, asociamos con un muelle. Cuanto mayor sea k , menor será la elongación «y» del muelle para una misma fuerza ejercida sobre él, por lo que menor será y_t .

En busca de estrategias como tentativas de resolución

Las estrategias de resolución no derivan automáticamente de los principios teóricos sino que son también construcciones tentativas, que parten del planteamiento cualitativo realizado, de las hipótesis formuladas y de los conocimientos que se poseen, pero que requieren imaginación y ensayos. Es el momento, por tanto, de tratar de obtener la distancia descendida en función de las variables que la condicionan. Por ello, nos planteamos la pregunta:

¿Cómo podríamos determinar esta distancia?

Los equipos de estudiantes deberán valorar las siguientes opciones:

i) Alternativa 1. Si planteamos la segunda ley de Newton, al ser la fuerza elástica variable con la posición «y», la aceleración resultante también variará con la posición. Por tanto, la cinemática a utilizar para la obtención de la elongación no se corresponde con la de un M.R.U.A. Nos encontraríamos ante un M.A.S cuyas características se abordarán más adelante en este curso.

$$ky - mg = ma ; a = \frac{k}{m}y - g$$

j) Alternativa 2. La vía de resolución más adecuada en este caso será la vía energética. Las únicas fuerzas que realizan trabajo durante la caída (hemos despreciado la resistencia del aire) son la fuerza gravitatoria y la fuerza elástica, ambas conservativas, por lo que la energía mecánica se conserva durante el proceso. La energía potencial gravitatoria en el momento del salto (considerando el salto desde el reposo) se transformará en energía cinética y energía potencial elástica durante la caída. En el momento de máxima elongación del muelle, sólo se tendrá energía potencial elástica.

k) Si tomamos como nivel cero de energía potencial gravitatoria la posición más baja que ocupará el saltador, podemos expresar:

$$mg(y + y_0) = \frac{1}{2}ky^2 \rightarrow \frac{1}{2}ky^2 - mgy - mgy_0 = 0$$

La solución para esta ecuación cuadrática:

$$y = \frac{mg \pm \sqrt{(mg)^2 + 2kmgy_0}}{k} = \frac{mg \pm \sqrt{mg(mg + 2ky_0)}}{k} \quad (1)$$

Sobre la consistencia del proceso de resolución: el análisis de resultados

El análisis de resultados de una situación problemática es consustancial a la actividad científica. El profesor podría guiar este análisis lanzando a los estudiantes una serie de preguntas que deberían dar lugar a razonamientos del tipo l), m) y n):

¿Es razonable que existan dos valores aceptables de la distancia «y», tal y como indica la ecuación (1)?

l) Como $\sqrt{mg^2 + 2kmgy_0} > mg$, la solución negativa carece de sentido físico y, en consecuencia, la altura descendida vendrá dada por:

$$y = \frac{mg + \sqrt{mg(mg + 2ky_0)}}{k} \quad (2)$$

¿Eran coherentes nuestras hipótesis?

m) En la expresión obtenida podemos apreciar que, tal y como habíamos previsto, «y» aumenta cuando aumenta la masa suspendida m y cuando aumenta la longitud de la cuerda y_0 . La distancia descendida disminuye, sin embargo, al aumentar la constante elástica del muelle.

¿En qué condiciones se podrá considerar que el salto es seguro?

n) Si tal y como hemos adelantado en el análisis inicial, deseamos tener un margen de seguridad del 30% de la altura h desde la que se produce el salto, se deberá cumplir que la altura total ($y_t = y_0 + y$) sea menor o igual que $h - 0,3h$:

$$y_0 + \frac{mg + \sqrt{mg(mg + 2ky_0)}}{k} \leq 0,7h$$

De la resolución de un problema al planteamiento de otros: nuevas perspectivas

Como en cualquier investigación, los resultados pueden ser origen de nuevos problemas. Se deberá poner en juego, nuevamente, la creatividad de estudiantes y profesores para considerar otras perspectivas abiertas tras la resolución.

Podemos, en este momento, pedir a nuestros estudiantes que juzguen si el salto es seguro en una posible situación real. Por ejemplo, si la masa del saltador es de 75 kg, la cuerda utilizada tiene una longitud de 15 m y una constante elástica (considerada como un muelle) de 50 N/m, y el puente desde el que se salta está situado a 80 m sobre el río.

Por otro lado, es importante destacar que un salto que es seguro para una persona puede no serlo para otra de mayor masa. En este caso, sería posible realizar el salto haciendo uso de cuerdas con otras características elásticas.

Problem solving by developing guided research in introductory university physics courses

GUISASOLA ARANZABAL, JENARO¹; CEBERIO GÁRATE, MIKEL²; ALMUDÍ GARCÍA, JOSÉ MANUEL² y ZUBIMENDI HERRANZ, JOSÉ LUIS²

¹ Departamento de Física Aplicada I. Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de San Sebastián. Universidad del País Vasco

² Departamento de Física Aplicada I. Escuela de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao. Universidad del País Vasco

jenaro.guisasola@ehu.es

mikel.ceberio@ehu.es

josemanuel.almudi@ehu.es

jl.zubimendi@ehu.es

Summary

Research into problem solving has repeatedly shown that many students following transmissive teaching formats for General University Physics courses learn to solve quantitative problems similar to questions set at the end of each text book unit but they are usually incapable of explaining the meaning of their own numerical solutions to the problems.

This article firstly aims to investigate how implementing the problem solving strategy based on developing guided research can help students to learn procedures from scientific methodology to solve problems. Secondly, it aims to provide evidence of improvements in problem solving among experimental groups compared to groups of students attending traditional first year Engineering courses and thirdly, it wishes to explore how the problem solving proposal affects students' attitudes.

The problem solving proposal as a development of guided research questions the problem solving process as it is usually presented in the classroom. It considers that this scientific treatment has general characteristics that can be partly transferred to solving problems in the field of teaching.

This proposal has to be structured when applied in the classroom, working in small teams of three or four students that interact with each other, with the teacher and with other sources of information. In terms of time, it is divided into four phases.

The research was done with first year Engineering students at the University of the Basque Country. The experimental students tackled a total of 7 or 8 open problems in accordance with the proposed methodology.

A total number of 134 first year engineering students participated in the study, split into 4 experimental classes with between 30 and 40 students per class. Another 65 students also took part in the process, split into 2 classes that received traditional teaching. The main instrument used as a data source involved solving written Physics problems.

To investigate how students in the experimental group

reason when solving Physics problems and how they use the concepts and laws involved, we asked them to solve problems in the different exams for the subject of Physical Fundamentals of Engineering. The analysis involved a semi-quantitative evaluation based on protocols designed for analysing written answers in concordance with scientific capabilities. We have attempted to divide the answers into partial sections that can be categorised as an «explanation» and have been grouped into categories to determine the level developed by the students when problem solving.

On the other hand, an analysis was run on solving three standard problems set in an exam situation evaluating whether, from the academic point of view and independently of whether scientific procedures were used, the result obtained was better for the experimental students than for the control students. This analysis considered solutions from 104 students from the experimental groups and 65 control group students.

In order to make a stable methodological change, it is fundamental that there is a change in student attitudes in parallel, not only to obtain better results in problem solving but also when evaluating the new methodology more positively. In this respect, we asked the experimental students about the contents and methods that have been worked on in problem classes, on the way in which the open problems have been worked on in class and finally on their overall satisfaction with the solution method.

This study presents evidence that the problem solving teaching as a development of guided research allows a majority of students to develop skills related to the scientific methodology and significantly interpret the concepts and laws involved in the Physics problems, and moreover it improve the students' results regarding obtaining a correct solution from the academic point of view in standard text book problems and, finally, we can state that the majority adopt a favourable attitude to learning problem solving.

Nevertheless, it is necessary to say that it is difficult to introduce the methodology at the start of the course and that it requires a greater investment of time than traditional teaching. In addition, students must perceive that the alternative methodology is a true reflection of the evaluation tests.